



⑩ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 40 033 A 1**

⑥ Int. Cl. 7:  
**C 23 C 16/44**

⑳ Aktenzeichen: 199 40 033.4  
㉑ Anmeldetag: 24. 8. 1999  
㉒ Offenlegungstag: 17. 5. 2001

DE 199 40 033 A 1

⑦① Anmelder:  
Aixtron AG, 52072 Aachen, DE

⑦④ Vertreter:  
Dr. Münich & Kollegen, 80689 München

⑦② Erfinder:  
Keppeler, Johannes, 52146 Würselen, DE;  
Wischmeyer, Frank, 52072 Aachen, DE; Strauch,  
Gert, 52072 Aachen, DE; Jürgensen, Holger, Dr.,  
52072 Aachen, DE

⑥⑥ Entgegenhaltungen:  
DE 195 22 574 A1  
EP 01 64 928 A2

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑥④ Verfahren und Vorrichtung zum Abscheiden von Schichten auf rotierenden Substraten in einem allseits beheizten Strömungskanal

⑥⑦ Beschrieben werden eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Herstellung von SiC-Halbleiterschichten und verwandter Materialien mit großer elektronischer Bandlücke und hoher Bindungsenergie (wie z. B. SiC<sub>x</sub>Ge<sub>1-x</sub> (x = 0-1), AlN, GaN).

Die Erfindung zeichnet sich durch die Verwendung eines rotierenden Substrates in einem allseits beheizten Strömungskanal und einem aktiv gekühlten Gasinlaß aus.

DE 199 40 033 A 1

## Beschreibung

## Technisches Gebiet

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Abscheidung von SiC- und/oder  $\text{SiC}_x\text{Ge}_{1-x}$  ( $x = 0-1$ )-Halbleiterschichten und verwandter Materialien mit großer elektronischer Bandlücke und großer Bindungsenergie, wie z. B. AlN oder GaN, aus der Gasphase.

## Stand der Technik

Halbleiter mit großer Bandlücke eignen sich aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften auf besondere Weise für Anwendungen jenseits des Einsatzbereiches von Si oder GaAs basierender elektronischer Halbleiterbauelemente. Die Chemische Gasphasen Epitaxie (CVD) ist das geeignetste Verfahren, elektrisch aktive Schichten, wie SiC und/oder  $\text{SiC}_x\text{Ge}_{1-x}$  ( $x = 0-1$ ), für elektronische Bauelemente für Hochtemperatur, Hochfrequenz- und Hochleistungsanwendungen herzustellen.

Bei vertikalen, Raumladungszonen-gesteuerten Bauelementen, wie z. B. Schottky-Dioden oder pn-Dioden, müssen für typische Leistungsanwendungen Sperrspannungen im Bereich  $U > 10$  kV aufgenommen werden. Es besteht daher die Notwendigkeit, daß die abgeschiedenen epitaktischen Schichten Dicken von bis zu 100  $\mu\text{m}$  aufweisen müssen. Hohe Leistungen beinhaltet auch die Schaltbarkeit hoher Ströme  $I > 10$  A. Nur großflächige Bauelemente können diese hohen Ströme im Durchlaßbereich führen. Die dadurch stetig steigende Förderung nach Substraten mit einem Mindestdurchmesser von 4" (Zoll) erfordert für die Epitaxie eine großflächige, homogene Aufheizbarkeit der Substrate.

Es werden herkömmlicherweise Heißwandreaktoren ohne rotierendem Substrat für das Abscheiden von SiC Schichten auf z. Z. 2" (Zoll) Substraten eingesetzt.

Diese haben den Nachteil, daß die Wachstumsrate über der Lauflänge des Gases stark abnimmt. Um diesen Effekt auszugleichen, variiert man auf herkömmliche Weise die Reaktorhöhe über der Lauflänge, um ein homogenes Wachstum auf dem Wafer zu ermöglichen.

Ein weiterer Nachteil ist das inhomogene Wachstum senkrecht zur Flußrichtung bedingt durch den Einfluß der Wände. An den Wänden findet Wachstum statt und dadurch werden zusätzliche Prozeßgase konsumiert. Weiterhin wirken die Wände sich nachteilig auf das Strömungsprofil im Reaktor aus. Hier ist nach dem Stand der Technik entweder durch die Variation des Prozeßdruckes und/oder des Flusses oder durch die Vergrößerung des Abstandes Wafer zur Wand eine Verbesserung möglich.

Ein weiterer Nachteil ist die Inhomogenität der Dotierung über der Lauflänge und senkrecht zur Lauflänge. In diesem Fall spielen vor allem Temperaturinhomogenitäten eine entscheidende Rolle, die im Falle eines Heißwandreaktors ohne Rotation nur durch großen apparativen Aufwand verbessert werden können.

Ein möglicher mechanischer Antrieb zur Rotation des Substrates bedarf einer mechanischen Durchführung zum heißen Substrathalter. Dieses hätte den Nachteil zur Folge, daß die Durchführung zu einer Inhomogenität der Temperatur des Substrathalters führt, daß die mechanischen Elemente, wie z. B. Zahnräder, bei den benötigten Temperaturen von über 1400°C zu Abrieb führen würden und so einerseits Partikel generiert würden und andererseits Materialien freigesetzt werden könnten, welche zu einer nicht erwünschten Hintergrunddotierung in den abgeschiedenen Schichten führen würden.

Ein weiterer Nachteil ist die auf dem Graphit des Substrathalters bzw. -trägers aufgebrachte Beschichtung zur gasdichten Versiegelung der Graphitoberfläche. Hier wird gemäß dem Stand der Technik SiC eingesetzt. Dieses hat den Nachteil, daß die SiC Beschichtung bei den für den Prozeß benötigten Temperaturen von über 1400°C von reaktiven Wasserstoffradikalen geätzt wird, und somit nur eine kurze Lebensdauer der Graphitheile gewährleistet ist. Weiterhin kann die Rückseite des Substrates durch "Close Space Epitaxy" ungewollt mit SiC von der beschichteten Graphitoberfläche beschichtet werden. Durch den Materialübertrag sind Löcher in der SiC Beschichtung die Folge. Zudem werden durch Poren und Löcher in der SiC Beschichtung der Graphite Verunreinigungen frei, die sich als Fremdatome elektrisch aktiv in die Halbleiterschicht einbauen und die elektrischen Eigenschaften der Schicht beeinflussen können. Durch Poren und Löcher in der SiC Beschichtung der Graphite werden bei den hohen Prozeßtemperaturen Kohlenwasserstoffe freigesetzt, die für die SiC Epitaxie den Anteil an Kohlenstoff in der Gasphase vergrößern und somit die Kontrollierbarkeit des Prozesses beeinträchtigen.

## Darstellung der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und ein Vorrichtung bereitzustellen, mit der unter anderem homo- oder heteroepitaktische SiC- und/oder  $\text{SiC}_x\text{Ge}_{1-x}$  ( $x = 0-1$ )-Schichten mit großen Wachstumsraten sehr homogen abgeschieden werden können.

Die Aufgabe wird durch ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Abscheidung von SiC- und/oder  $\text{SiC}_x\text{Ge}_{1-x}$  ( $x = 0-1$ )-Halbleiterschichten und verwandter Materialien mit großer elektronischer Bandlücke und großer Bindungsenergie, wie z. B. AlN oder GaN, aus der Gasphase gelöst, wobei die Abscheidung in einem alleits beheizten Strömungskanalreaktor, unter Verwendung eines rotierenden Substrates desselben Materials (Homoepitaxie) oder eines anderen geeigneten Materials (Heteroepitaxie), wie z. B. Silizium, Silicon on Insulator, Saphir, erfolgt.

Der Erfindung liegen ein entsprechendes Verfahren sowie eine entsprechende Vorrichtung zugrunde.

Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daß in einem über dem Substrat geschlossenen, als alleits beheizten Strömungskanal ausgeführten Substrathalter bzw. -träger aus hochtemperaturbeständigen leitenden Material wie Graphit, ein oder mehrere Substrathalter bzw. -teller gedreht wird bzw. werden.

Eine andere Ausführungsform des beheizten Strömungskanals mit rotierenden Substraten ist die Anordnung als Radialflußreaktor. In dieser Ausführung lassen sich vorteilhaft mehrere Wafer gleichzeitig unter gleichen Prozeßbedingungen beschichten. In der als Radialflußreaktor ausgeführten Form strömen die Prozeßgase vom Zentrum durch den temperierten Gaseinlaß nach außen, über die rotierten Substrate in einen Abgassammler auf dem äußeren Umfang des Substrathalters bzw. -trägers. Der Radialflußreaktor besitzt vorteilhaft keine Wände, wodurch die beschriebenen negativen Seitenwandeffekte eines heißen Strömungskanal-Reaktors vermieden werden.

Die Drehung des oder der Substratteller kann vorteilhaft durch Gas Foil Rotation durchgeführt werden, wodurch mechanische Abriebe und aufwendige mechanische Lagerungen und Antriebe vermieden werden können.

Mit der Rotation des Substrates erreicht man vorteilhaft den Ausgleich der abnehmenden Wachstumsrate über der Lauflänge und senkrecht zur Lauflänge die Homogenisierung von eventuell vorhandenen Temperaturgradienten im Substrathalter bzw. Substraträger.

Durch die Rotation und insbesondere durch die Rotation mittels Gas Foil Rotation werden vorteilhaft ein homogenes Wachstum bzgl. Schichtdicke und Dotierung und eine homogene Temperaturverteilung erreicht. Darüber hinaus kann einerseits eine sehr geringe Partikelgenerierung durch die Verwendung der Gas Foil Rotation erreicht werden. Andererseits ist das mechanische Drehen bei hohen Temperaturen ohne negative Einflüsse auf Temperaturhomogenität und Lebensdauer der Bauteile bisher ungelöst.

Die dem Prozeßgas zugewandten Begrenzungswände insbesondere der Substrathalter und das/oder die rotierenden Substrate können mittels Hochfrequenzheizung, Lampenheizung, Widerstandsheizung oder einer beliebigen Kombination dieser, auf Temperaturen von bis zu 1800°C erhitzt werden. Dabei können vorteilhaft Temperaturregelungs- und -regelungseinrichtungen verwendet werden, welche die Begrenzungen mit gleichen oder unterschiedlichen Temperaturen beheizen. Damit können die Prozeßbedingungen sehr spezifisch eingestellt bzw. variiert werden.

Zur Beheizung können insbesondere bei einer Hochfrequenzheizung eine oder mehrere Spulen um den bzw. über und unter dem Suszeptor bzw. Substrathalter angeordnet werden, um die Wärmeübertragung optimal und mit geringen Verlusten und Steuerungs- bzw. Regelungsproblemen zu ermöglichen.

Dabei ist auch eine getrennte Regelung der Temperatur von zwei bzw. jeweils zwei gegenüberliegenden Begrenzungswänden des beheizten Strömungskanals durch Einsatz von zwei getrennten Heizkreisen mit jeweils eigener Regelung möglich.

Insbesondere kann durch eine getrennte Regelung der Temperatur der substratseitigen Begrenzungswand von der gegenüberliegenden Begrenzungswand des beheizten Strömungskanals durch Einsatz von zwei getrennten Heizkreisen mit jeweils eigener Regelung vorteilhaft der Temperaturgradient senkrecht zum Substrat festgelegt werden. Damit wird vorteilhaft die Reduktion von Si-Cluster- und -Keimbildung im Gasstrom erreicht.

Bei dem Einsatz zweier getrennt geregelter Heizkreise für jeweils die Temperatur der substratseitigen Begrenzungswand und der gegenüberliegenden Begrenzungswand können also die Temperaturen getrennt eingestellt werden. Dadurch lassen sich vorteilhaft konstante Temperaturgradienten zwischen Substrat und der gegenüberliegenden Begrenzungswand des Strömungskanals einstellen.

Die dem Prozessgas zugewandten Begrenzungswände des beheizten Strömungskanals und insbesondere der Substratträger bzw. Substrathalter und der/die Substratteller können insbesondere aus hochleitendem Material ausgeführt sein, um auch dadurch die Homogenität der erzeugten Materialien zu unterstützen bzw. zu verbessern.

Weiterhin werden vorteilhaft die dem Prozessgas zugewandten Begrenzungswände des beheizten Strömungskanals und insbesondere die Substratteller und Substrathalter mit einer durch Wasserstoffradikale nicht ätzbaren, bei Temperaturen bis 1800°C nicht sublimierenden, auf das Graphit der Substratteller bzw. Substrathalter aufgetragenen Beschichtung, z. B. TaC, so geschützt, daß auch bei hohen Temperaturen und langen Anwendungszeiten die Oberfläche der Beschichtung geschlossen bleibt. Durch die Vermeidung freier Graphitoberflächen wird somit vorteilhaft die Freisetzung von Verunreinigungen aus dem Graphit minimiert. Dadurch lassen sich ungewollte Hintergrunddotierungen auf  $< 5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$  begrenzen. Durch die stabile, gasdichte Versiegelung wird die Bildung von zusätzlichen Kohlenwasserstoffen vorteilhaft unterdrückt. Die Kontrollierbarkeit der Zusammensetzung der Gasphase aus Silizium und Kohlenstoff in unmittelbarer Nähe zum Substrat wird

somit erhöht.

Es wird vorteilhaft eine Close Space Epitaxy auf der Rückseite des Substrates durch die Verwendung von temperaturbeständigen und gegen Wasserstoffradikale ätzbeständigen Beschichtungen vermieden. Solche Beschichtungen für den Substratteller aus Graphit können insbesondere aus z. B. TaC bestehen.

Die in den als Strömungskanal ausgeführten Substrathalter bzw. -träger eintretenden Gase werden bis kurz vor Eintritt durch einen aktiv gekühlten Einlaß weit unter Zerlegungstemperatur der Prozeßgase gehalten. Somit wird vorteilhaft die Zerlegung der Prozeßgase so weit wie möglich bis kurz vor dem Substrat verhindert. Eine Abscheidung aus der Gasphase kann somit erst über dem Substrat erfolgen.

Der gekühlte Einlaß und der heiße Substrathalter bzw. -träger werden nur durch ein schmales, stark wärmeisolierendes Segment thermisch getrennt und gegenseitig verbunden. Dies ist eine vorteilhafte da einfache Wärmeisolierung.

Diese beiden vorübergehenden Merkmale ermöglichen somit eine hohe Effizienz der abzuschneidenden Prozeßgase, da diese erst kurz vor dem Substrat zerlegt werden. Durch den abrupten Temperaturübergang wird zusätzlich eine preferentielle Verarmung einer Gasspezies in einem Temperaturbereich unterdrückt, was der Kontrollierbarkeit der Komposition der Gasphase in unmittelbarer Nähe zum Substrat dient.

Durch den geringen Temperaturgradienten senkrecht zum Substrathalter bzw. -träger im heißen Strömungskanal erreicht man eine effektive Zerlegung der Quellengase. Der abrupte Temperaturübergang zwischen Gaseinlaß und Substrathalter bzw. -träger und der geringe Temperaturgradient senkrecht zum Substrathalter bzw. -träger reduziert die Wahrscheinlichkeit der Bildung von Si-Clustern oder Keimbildung in dem Gasstrom. Dadurch erreicht man vorteilhaft eine Maximierung der Wachstumsrate.

In einem solchem Strömungskanal mit integriertem Substrathalter bzw. -träger erreicht man dadurch Wachstumsraten  $> 10 \text{ } \mu\text{m/h}$ .

Durch Ausgestaltung des Strömungskanals hinter dem Substrathalter bzw. -träger mit Auslaßsegmenten aus verschiedenen inerten Materialien, werden Reaktionen der ausströmenden Gase vermieden und somit weiterhin die Homogenität der zu erzeugenden Materialien verbessert. Die Prozeßbedingung sind somit reproduzierbar. Unkontrollierbare Einflüsse durch Reaktionen der ausströmenden Gase werden vermieden.

Das Einbringen von dünnen Körpern aus inerten Materialien mit anderen Leitfähigkeiten (z. B. Ta, Mo) als der Substrathalter, auf oder in dem Substrathalter dient vorteilhaft der Beeinflussung der Temperaturverteilung in diesem, unabhängig von der Spulenposition.

Bei der anderen Ausführungsform des beheizten Strömungskanals mit rotierenden Substraten als die Anordnung als Radialflußreaktor ist es zudem vorteilhaft, daß die dem Substrat gegenüberliegende Begrenzungswand des beheizten Strömungskanals in einem bestimmten Abstand zur substratseitigen Begrenzung des beheizten Strömungskanals mit dieser drehbar verbunden ist. Dadurch erfolgt eine verbesserte Rotationsbewegung des mindestens einen Substrats innerhalb des Strömungskanals zur Erreichung einer optimalen Homogenität der erzeugten Halbleiterschichten.

Weiterhin ist es vorteilhaft, daß die dem Substrat gegenüberliegende Begrenzungswand des beheizten Strömungskanals zur Bereitstellung des erwünschten Temperaturgradienten durch ein gasförmiges Medium aktiv kühlbar ist. Damit können die Temperaturgradienten und die Temperaturzeitverläufe vorteilhaft beeinflußt werden.

Da das rotierende Substrat durch einen an einer beliebigen

gen Begrenzungswand des beheizten Strömungskanals angeordneten Substralthaler positionierbar ist können vorteilhaft Schwerkrafteffekte gezielt zur Prozessoptimierung genutzt werden.

Ist der Gasausgang des Substralthalers als Gasverteilerring ausgeführt können dadurch die Gase gleichförmig auf dem Umfang aus dem Strömungskanal abgeleitet werden. Die Ausführung des Gasverteilerrings aus verschiedenen inerten Materialien führt zu einer vorteilhaften Beeinflussung der Temperaturgradienten und Temperaturzeitverläufen. Auch hier wird die Anzahl der beeinflussbaren Prozessparameter in vorteilhafter Weise erhöht. Reaktionen der austretenden Gase sollen damit vermieden werden.

Das entsprechende erfindungsgemäße Verfahren kann vorteilhaft durch Verwendung entsprechender Prozeß- und Trägergase, durch eine optimale Temperaturführung in Verbindung mit entsprechenden Drücken so ausgeführt werden, daß Schichten mit großen Wachstumsraten sehr homogen abgeschieden werden. Dabei sollen insbesondere bereits bekannte Abscheidungsverfahren wie CVD-, MOCVD oder MOVPE-Verfahren verbessert werden.

Durch das Einleiten von weit unter Prozeßtemperatur gekühltem Prozeß- und Trägergas kurz vor dem heißen Substrat, wird eine vorzeitigen Zerlegung von Quellgasen und die lokale Übersättigung des Gasstromes mit einem Zerlegungsprodukt vermieden.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kommen ausgewählte Prozeß- und Trägergase zur Anwendung, welche die Qualität der erzeugten Halbleiterschichten vorteilhaft beeinflussen.

Es werden insbesondere Dotierungen von  $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$  bis  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  erreicht.

Durch die vollständige Zerlegung von Quellgasen vor oder über dem Substrat werden vorteilhaft, bedingt durch das homogene Temperaturprofil des Substralthalers, auch Wachstumsraten für SiC- und/oder  $\text{SiC}_x\text{Ge}_{1-x}$  ( $x = 0-1$ ) Halbleiterschichten von  $10 \mu\text{m/h}$  oder mehr erreicht.

Mit bei dem erfindungsgemäßen Verfahren erzeugten geringen Temperaturgradienten senkrecht zum Substrat werden vorteilhaft die Reduktion von Si-Cluster- und -Keimbildung im Gasstrom erreicht.

Es ist vorteilhaft homo- oder heteroepitaktisches Abscheiden möglich.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnung

Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung exemplarisch beschrieben, auf die im übrigen hinsichtlich der Offenbarung aller im Text nicht näher erläuterten erfindungsgemäßen Einzelheiten ausdrücklich verwiesen wird. Es zeigen:

Fig. 1: eine Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Abscheiden von Schichten aus der Gasphase im Querschnitt,

Fig. 2: eine Darstellung des Temperaturverlaufs in Abhängigkeit von dem Ort innerhalb der Vorrichtung gemäß Fig. 1,

Fig. 3: eine Darstellung einer weiteren erfindungsgemäßen Vorrichtung in der Ausführung als Radialflußreaktor mit Doppelrotation zum Abscheiden von Schichten aus der Gasphase im Querschnitt,

Fig. 4: eine Darstellung des Temperaturverlaufs in Abhängigkeit von dem Ort innerhalb der Vorrichtung gemäß Fig. 3.

#### Ausführungsbeispiele

In dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 bezeichnen die Bezugszeichen folgende Konstruktionsmerkmale eines erfindungsgemäßen Systems bzw. einer erfindungsgemäßen Vorrichtung:

Das Bezugszeichen 1 bezeichnet einen aktiv gekühlten Einlaß. Das Bezugszeichen 2 bezeichnet ein kurzes Isolationssegment aus hochisolierendem temperaturfestem Material (z. B. Graphitschaum) zwischen kaltem Einlaß 1 und dem beheizten Strömungskanal.

Das Bezugszeichen 3a bezeichnet einen Substralthaler bzw. Substratträger mit einem durch Gas Foil Rotation rotierenden Substratteller 4, wobei beide aus hochtemperaturbeständigen und leitenden Material (z. B. Graphit) mit einer inerten und auch bei Temperaturen bis  $1800^\circ\text{C}$  gegen Wasserstoffradiakalen resistenten Beschichtung (z. B. TaC) bereitgestellt sind. Dem Substralthaler 3a gegenüber liegt eine obere Begrenzung 3b zur mit (nicht gezeigten) Seitenwänden erfolgenden Ausbildung eines senkrecht zur Gasflußrichtung geschlossenen Strömungskanals, in dem der Substralthaler 3a integriert ist. Dabei kann der Substralthaler 3a auch an anderen Begrenzungswänden angeordnet werden. Das Bezugszeichen 5 bezeichnet eine oder mehrere Spulen, welche um oder über und unter dem geschlossenen Substralthaler 3a angeordnet sind, um den kompletten Strömungskanal aktiv zu erhitzen. Das Bezugszeichen 6 bezeichnet ein oder mehrere Auslaßsegmente aus verschiedenen Materialien, um die Temperatur zwischen Suszeptor und Gasauslaß kontinuierlich abzusenken. Das Bezugszeichen 8 bezeichnet im Verhältnis zum Substralthaler 3a dünne Platten aus Materialien, welche eine andere elektrische Leitfähigkeit als der Substralthaler 3a haben und inert sind (z. B. Mo, Te), um die Temperaturverteilung unabhängig von der Spulenposition zu beeinflussen.

Fig. 2 zeigt den Temperaturverlauf innerhalb des Systems in Abhängigkeit vom Ort der Prozeßgase in dem System. Dabei ist ersichtlich, daß die Prozeßgase bis zum Einlaß in den erhitzten Strömungskanal gekühlt geführt werden, um dann sehr schnell auf Temperaturen gebracht zu werden, die für eine Pyrolyse der Prozeßgase erforderlich sind. Nach dem Auslaß erfolgt durch die Auslaßsegmente eine kontinuierliche und kontrollierte Abkühlung der Prozeßgase.

Fig. 3 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel für ein erfindungsgemäßes System bzw. eine erfindungsgemäße Vorrichtung allerdings mit einer Anordnung als Radialflußreaktor mit Doppelrotation. Auch hier bezeichnet Bezugszeichen 1 einen aktiv gekühlten Einlaß. Das Bezugszeichen 2 bezeichnet ein kurzes Isolationssegment aus hochisolierendem temperaturfestem Material (z. B. Graphitschaum) zwischen kaltem Einlaß 1 und heißem Suszeptor. Das Bezugszeichen 3a bezeichnet einen Substralthaler bzw. Substratträger mit einem durch Gas Foil Rotation rotierenden Substratteller 4, wobei beide aus hochtemperaturbeständigen und leitenden Material (z. B. Graphit) mit einer inerten und auch bei Temperaturen bis  $1800^\circ\text{C}$  gegen Wasserstoffradiakalen resistenten Beschichtung (z. B. TaC) bereitgestellt sind. Dem Substralthaler 3a gegenüber liegt eine Begrenzung 3b zur mit (nicht gezeigten) Seitenwänden erfolgenden Ausbildung eines senkrecht zur Gasflußrichtung geschlossenen Strömungskanals, in dem der Substralthaler 3a integriert ist. Dabei kann der Substralthaler 3a auch an anderen Begrenzungswänden angeordnet werden. Das Bezugszeichen 5 bezeichnet eine oder mehrere Spulen, welche um oder über und unter dem geschlossenen Substralthaler 3a angeordnet sind, um den kompletten Substralthaler 3a aktiv zu erhitzen. Das Bezugszeichen 6 bezeichnet ein oder mehrere Auslaßsegmente aus verschiedenen Materialien, um die Tempera-

tur zwischen Suszeptor und Gasauslaß kontinuierlich abzusinken. Das Bezugszeichen 8 bezeichnet im Verhältnis zum Substrathalter bzw. Substraträger 3a dünne Platten aus Materialien, welche eine andere elektrische Leitfähigkeit als der Substrathalter 3a haben und inert sind (z. B. Mo, Ta), um die Temperaturverteilung unabhängig von der Spulenposition zu beeinflussen.

Im Unterschied zum System nach Fig. 1 bezeichnet das Bezugszeichen 7 zusätzlich in der Ausführung als Radialflußreaktor mit Doppelrotation einen Auslaßring, der für eine gleichmäßige Flußaufteilung über den Umfang des Substrathalters sorgen soll.

Der Temperaturverlauf gemäß Fig. 4 für das System in der Ausführung als Radialflußreaktor mit Doppelrotation entspricht im Prinzip dem Temperaturverlauf nach Fig. 2

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von SiC- Halbleiterschichten und verwandter Materialien mit großer elektronischer Bandlücke und hoher Bindungsenergie, (wie beispielsweise  $\text{SiC}_x\text{Ge}_{1-x}$  ( $x = 0-1$ ), AlN, GaN) mittels CVD, gekennzeichnet durch die Verwendung mindestens eines rotierenden Substrates in einem allseits beheizten Strömungskanalreaktor.
2. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch die Ausführung des Reaktors als Radialflußreaktor mit Doppelrotation.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Rotation des mindestens einen Substrats jeweils auf einem in oder auf einem Substrathalter angeordneten Substratteller durch "Gas Foil Rotation" erfolgt.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Rotation des mindestens einen Substrats jeweils auf einem in oder auf einem Substrathalter angeordneten Substratteller durch mechanisch angetriebene Achse erfolgt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, gekennzeichnet durch das Einleiten von weit unter Prozeßtemperatur gekühlten Prozeß- und Trägergases kurz vor dem heißen Substrat, zur Vermeidung der vorzeitigen Zerlegung von Quellgasen und der lokalen Übersättigung des Gasstromes mit einem Zerlegungsprodukt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, gekennzeichnet durch die Verwendung von  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ , Edelgasen oder deren Gemische als Trägergas.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, gekennzeichnet durch die Verwendung von Silan ( $\text{SiH}_4$ ) oder anderer Si-haltiger anorganischer und organischer Ausgangsmaterialien, German ( $\text{GeH}_4$ ) und Propan ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) oder anderer Kohlenwasserstoffgase als Prozeßgase.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß dotierte Schichten von  $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$  bis  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  hergestellt werden.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß durch die vollständige Zerlegung von Quellgasen vor oder über dem Substrat, bedingt durch das homogene Temperaturprofil des Substrathalters, auch Wachstumsraten für SiC- und/oder  $\text{SiC}_x\text{Ge}_{1-x}$  ( $x = 0-1$ )-Halbleiterschichten von  $10 \mu\text{m/h}$  oder mehr erreicht werden.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß man bei geringen Temperaturgradienten senkrecht zum Substrat die Reduktion von Si-Cluster- und -Keimbildung im Gasstrom er-

reicht.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Schichten bei Prozeßdrücken zwischen 10-1000 mbar abgeschieden werden.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß bei Substrattemperaturen von 1100-1800°C homo- oder heteroepitaktisch SiC- und/oder  $\text{SiC}_x\text{Ge}_{1-x}$  ( $x = 0-1$ )-Halbleiterschichten oder verwandte Materialien mit großer Bandlücke (z. B. AlN, GaN) auf Substraten desselben Materials bzw. auf anderen geeigneten Substratmaterialien abgeschieden werden können.

13. Vorrichtung zur Herstellung von SiC- Halbleiterschichten und verwandter Materialien mit großer elektronischer Bandlücke und hoher Bindungsenergie, (wie beispielsweise  $\text{SiC}_x\text{Ge}_{1-x}$  ( $x = 0-1$ ), AlN, GaN) mittels CVD, gekennzeichnet durch die Verwendung mindestens eines rotierenden Substrates in einem allseits beheizten Strömungskanalreaktor.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, gekennzeichnet durch die Ausführung des Reaktors als Radialflußreaktor mit Doppelrotation.

15. Vorrichtung nach Anspruch 13 oder 14, gekennzeichnet durch eine Dreheinrichtung zur Rotation des mindestens einen Substrats jeweils auf einem in oder auf einem Substrathalter angeordneten Substratteller mittels "Gas Foil Rotation".

16. Vorrichtung nach Anspruch 13 oder 14, gekennzeichnet durch eine Dreheinrichtung zur Rotation des mindestens einen Substrats jeweils auf einem in oder auf einem Substrathalter angeordneten Substratteller mittels mechanisch angetriebene Achse.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 16, gekennzeichnet durch mindestens eine Temperatursteuer- bzw. Regelungseinrichtung zur Bereitstellung einer gleichen Temperatur aller dem Prozeßgas zugewandten Begrenzungswände als Oberseite, Unterseite und Seitenwände des damit geschlossenen beheizten Strömungskanals.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 16, gekennzeichnet durch mindestens eine Temperatursteuer- bzw. Regelungseinrichtung zur Bereitstellung von unterschiedlichen Temperaturen der dem Prozeßgas zugewandten Begrenzungswände als Oberseite, Unterseite und Seitenwände des damit geschlossenen beheizten Strömungskanals.

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß zur Beheizung der dem Prozeßgas zugewandten Begrenzungswände insbesondere des Substrathalters eine oder mehrere Hochfrequenzheizungen vorgesehen sind.

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß zur Beheizung der dem Prozeßgas zugewandten Begrenzungswände insbesondere des Substrathalters eine oder mehrere Lampenheizungen vorgesehen sind.

21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß zur Beheizung der dem Prozeßgas zugewandten Begrenzungswände insbesondere des Substrathalters eine oder mehrere Widerstandsheizungen vorgesehen sind.

22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß zur Beheizung der dem Prozeßgas zugewandten Begrenzungswände insbesondere des Substrathalters eine beliebige Kombination aus Hochfrequenz-, Lampen- und Widerstandsheizungen vorgesehen sind.

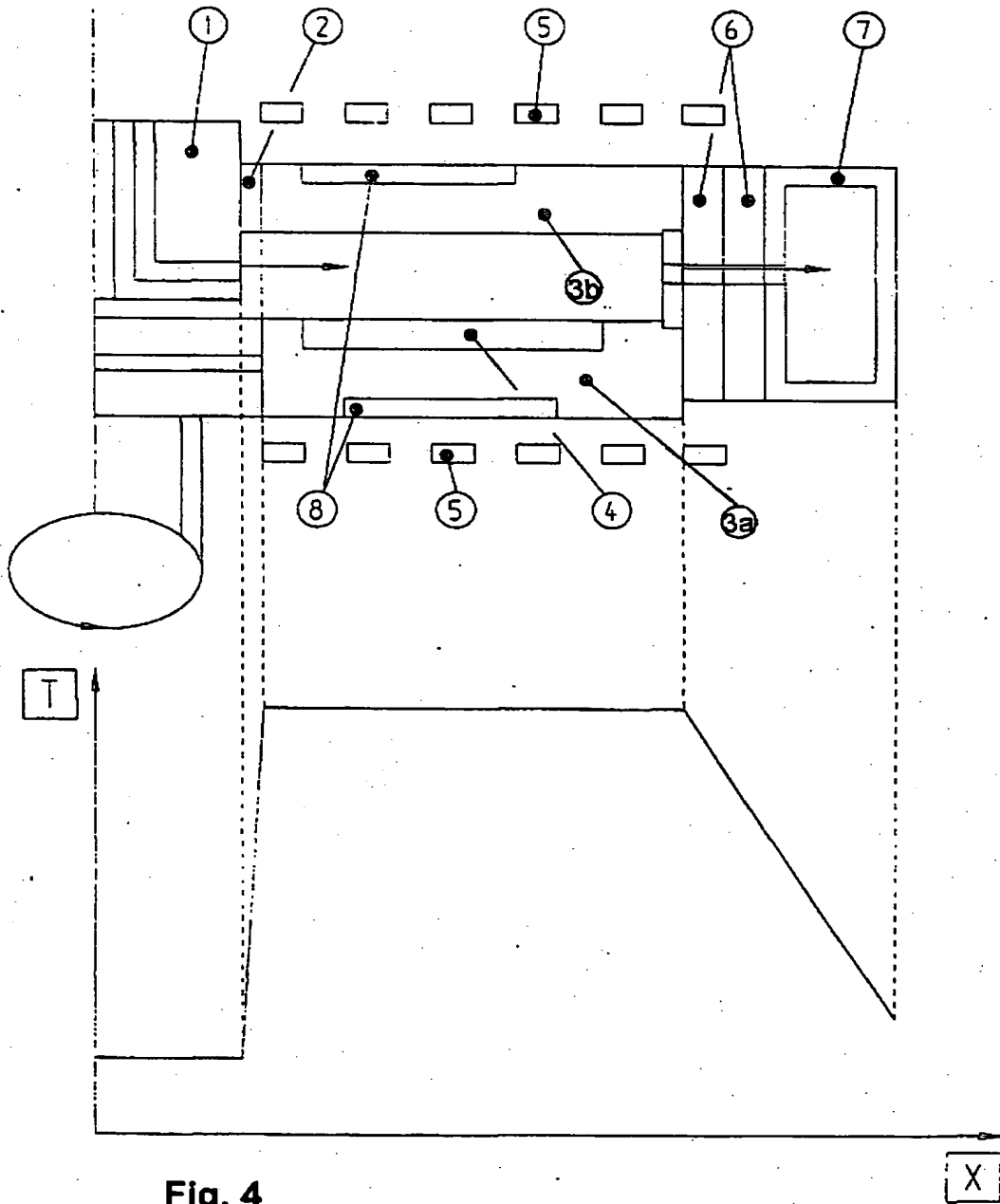
23. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß eine getrennte Regelung der Temperatur von zwei bzw. jeweils zwei gegenüberliegenden Begrenzungswänden des beheizten Strömungskanals durch Einsatz von zwei getrennten Heizkreisen mit jeweils eigener Regelung erfolgt. 5
24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß eine getrennte Regelung der Temperatur der substratseitigen Begrenzungswand von der gegenüberliegenden Begrenzungswand des beheizten Strömungskanals durch Einsatz von zwei getrennten Heizkreisen mit jeweils eigener Regelung erfolgt. 10
25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß die dem Prozessgas zugewandten Begrenzungswände des beheizten Strömungskanals und insbesondere der oder die Substratteller bzw. der Substrathalter, aus einem hochleitenden Material wie Graphit ausgeführt sind. 15
26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß die dem Prozessgas zugewandten Begrenzungswände des beheizten Strömungskanals und insbesondere der oder die Substratteller bzw. der Substrathalter eine geschlossene, inerte, hochtemperaturbeständige (bis ca. 1800°C) und durch Wasserstoffradikale nicht ätzbare Beschichtung aus z. B. TaC aufweist. 20
27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß eine Kühleinrichtung den Gaseinlaß bis kurz vor dem erhitzten Strömungskanal durch eine flüssiges oder gasförmiges Medium aktiv kühlt. 30
28. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß der kühle Gaseinlaß, durch ein hochisolierendes schmales Adapterstück zum allseits beheizten Strömungskanal hin abdichtet. 35
29. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß der Strömungskanal hinter der aktiv beheizten Zone aus Auslaßsegmenten besteht, welche verschiedenen inerten Materialien (z. B. TaC beschichtetes Graphit, SiC beschichtetes Graphit, Quarz etc.) aufweisen. 40
30. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 19 und 22 bis 29, dadurch gekennzeichnet, daß im Verhältnis zur Dicke des Substrathalters dünne Platten aus inerten Materialien (z. B. Ta, Mo, W) mit unterschiedlicher elektrischer Leitfähigkeit als der Substrathalter, auf oder in dem Substrathalter eingelegt werden können, um die Hochfrequenzeinkopplung und damit den Energieeintrag lokal zu beeinflussen. 50
31. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 30, dadurch gekennzeichnet, daß die dem Substrat gegenüberliegende Begrenzungswand des beheizten Strömungskanals in einem bestimmten Abstand zur substratseitigen Begrenzung des beheizten Strömungskanals fest installiert ist oder mit dieser drehbar verbunden ist. 55
32. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 31, dadurch gekennzeichnet, daß die dem Substrat gegenüberliegende Begrenzungswand des beheizten Strömungskanals durch ein gasförmiges Medium aktiv kühlbar ist. 60
33. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 32, dadurch gekennzeichnet, daß das rotierende Substrat durch einen an einer beliebigen Begrenzungswand des beheizten Strömungskanals angeordneten Substrathalter positionierbar ist. 65
34. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 31,

dadurch gekennzeichnet, daß der Gasausgang des Substrathalters als Gasverteiler ausgeführt ist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen



**Fig. 3**



**Fig. 4**